

대기모드가 있는 무선 급전 시스템의 대기 전력 저감 기법

김문영, 강정일
 삼성전자 영상 디스플레이 사업부

Standby power reducing method of wireless power supply system requiring standby mode

Moon-young Kim and Jeong-il Kang
 Visual-Display Business, Samsung Electronics Co., Ltd.

ABSTRACT

무선급전 시스템에서 대기 모드 시에도 전력을 소모하는 비중이 큰 수신부 통신 모듈을 OFF 시켜서 대기전력을 낮출 수 있다. 이때 대기모드 시 PFC 동작을 OFF 시키게 되면 추가로 대기전력을 더 낮출 수 있지만 PFC가 OFF된 상태에서는 AC 입력전압 크기에 따라 인버터 입력 전압 범위가 크게 변동하게 된다. 하지만 수신 통신 모듈 OFF시에는 무선통신을 통한 출력전압제어를 할 수 없기 때문에 안정적인 전력전달이 힘들다. 따라서 본 논문에서는 대기모드 시 출력전압을 일정 수준으로 제어하기 위해, 입력전압 크기에 따른 Feed-forward 구조를 통하여 동작 주파수를 가변 하는 무선전력전송 시스템을 구현하고자 한다.

1. 서론

최근 전기 자동차뿐만 아니라, 핸드폰이나 로봇청소기 같은 전자제품에 사용되는 배터리를 Wire없는 환경에서 사용하기 위한 무선전력전송 (Wireless Power Transfer, WPT)이 널리 연구 되었고 여러 제품들이 상용화 되어 사용자들에게 편의를 제공해 주고 있다[1-3]. 이러한 WPT는 부하의 종류에 따라서 무선 충전과 무선 급전으로 구분이 된다. 무선충전은 말 그대로 부하 측에 있는 배터리에 에너지를 충전하는 것이며, 무선 급전은 부하가 배터리가 아니라 순시 전력이 필요한 전기 및 전자 장치에 전력을 전달하는 것을 의미한다.

무선 충전은 그림1-(가)와 같이 2가지의 동작 상태를 가진다. 대기상태는 수신부(배터리)가 연결되지 않는 상태이며, 수신부가 송신부에 연결되면 충전이 시작된다. 대기 상태에서는 수신부가 없어 무선전력전송을 위한 인버터 회로를 동작시킬 필요가 없기 때문에, 수신부 장착여부만 판단하여 장착 시에만 송신부 인버터 회로를 동작시키기 때문에, 인버터를 동작 시키지 않는 대기모드 상태에서는 낮은 대기전력을 가질 수 있다.

반면 그림 2-(나)와 같이 무선 급전 시스템에서는 대기모드가 있으며 이러한 모든 전자제품에는 대기전력 규제가 존재한다. 예를 들어, TV와 같은 시스템에서 사용자가 리모컨으로 TV를 끄면 TV는 대기모드로 들어가며, 이 후 사용자가 원하는 시점에서 재동작 하기 위해서 리모컨 등의 신호를 항상 감지하고 있어야 하며, 이는 일정 전력을 항상 소모한다. 만약 WPT 시스템의 송신부에 리모컨 신호 수신부가 있으면 그림2-(가)의 무선 충전의 경우와

마찬가지로 송신부 동작을 OFF함으로써 낮은 대기전력을 유지할 수 있지만, 일반적으로 리모컨 수신부는 무선전력을 공급받는 수신부측 전자제품에 있기 때문에 전자제품이 소비하는 대기전력을 WPT 시스템에서 공급해 주어야 한다. 특히 전자장비의 사물인터넷 (Internet of things, IoT) 기능을 요구하는 전자제품에서는 대기전력규제 만족을 위해 단순히 송신부 전력전달을 OFF하는 방식은 연결된 장비의 IoT 기능을 이용 할 수 없다. 앞서 말한 바와 같이 TV와 같이 배터리를 사용하지 않는 제품에서는 무선전력 전송을 통하여 대기전력을 공급해 주어야 하나 일반적으로 WPT는 기존 유선의 전력 전달 방식보다 구조가 복잡하고 특히 경부하에서 효율이 매우 떨어지기 때문에 대기전력을 만족시키기 어렵다. 더욱이, 출력전압을 Feedback 하기 위해서 사용되는 무선통신 모듈은 그 자체로 전력을 추가로 소모하기 때문에 대기전력을 더욱 증가 시키게 된다.

따라서 본 논문에서는, 무선 급전 시스템에서 대기전력을 낮추기 위해서 대기모드 시 수신부 무선 통신 모듈을 OFF 시키고 입력전압 크기에 따른 Feed-forward 구조를 통하여 동작 주파수 및 Burst 동작을 가변하여 전자제품이 요구되는 0.5W 이하의 대기전력을 달성하고자 한다.



그림 1. 무선 충전과 무선 급전 시스템의 동작 상태

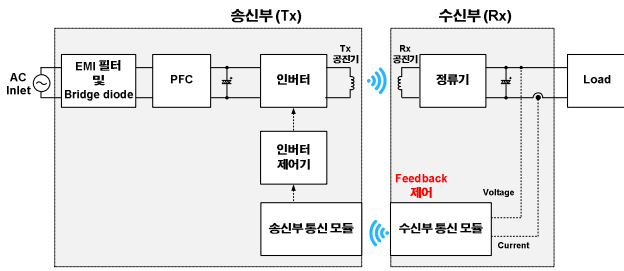


그림 2. 일반적인 WPT 시스템 구성도

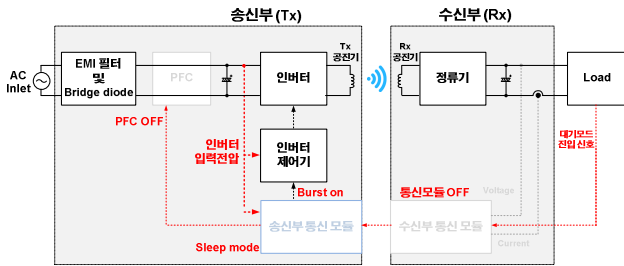


그림 3. 제안하는 대기모드 시 WPT 동작

2. 제안하는 대기 모드 시 WPT 동작

2.1 제안하는 대기 모드 시 동작 순서

WPT 시스템은 그림 2와 같이 일반적으로 송신부와 수신부로 이루어져 있으며 Feedback 제어를 위한 각각의 송/수신부 통신모듈을 가지고 있다[1-3]. 이러한 구조에서 제안하는 대기모드 시 WPT 동작은 그림 3과 같으며 대기모드 진입 시의 그 일련의 과정은 그림 4와 같다. 수신부에서 대기모드가 필요할 경우 먼저 송신부 통신 모듈에 대기모드 신호를 전달한 뒤 대기전력 저감을 위해 통신부 전원을 차단한다. 대기 신호를 받은 송신부 측 통신 모듈은 PFC를 OFF 시키고 Wake up 신호를 대기하는 Sleep mode에 진입한다. 이때 인버터 제어기는 무선통신을 통하여 Feedback 신호를 받을 수 없기 때문에 가장 안정적인 동작을 할 수 있는 공진주파수를 기본 주파수로 동작을 하되 PFC 출력전압, 즉 인버터 입력전압을 크기를 감지하여 동작 주파수 및 Burst on time을 가변 한다. 대기 모드에서 일반 모드 재진입 시 수신부 통신 모듈을 다시 동작 시켜서 송신부에 wakeup 신호를 전달한다. PFC를 동작시키고 동시에 일반모드에서의 전력을 공급할 수 있도록 feedback 제어를 통하여 WPT 출력전압의 크기를 알맞게 제어한다.

2.2 동작 원리 및 설계 시 고려 사항

일반적으로 100~240 Vac의 AC벽전원은 10%의 마진을 고려할 경우 90~264 Vac 영역의 전압을 가진다. 일반적인 전자제품에서의 PFC회로는 승압 동작을 하는 Boost converter로 설계되기 때문에 일반 동작 상태에서의 PFC 출력전압, 즉 인버터의 입력전압은 390 Vdc 크기의 DC전압을 가진다. 하지만 대기 모드 시 PFC를 OFF 할 경우에는 승압 동작을 하지 않기 때문에, 부하가 매우 낮은 경우 PFC 출력전압은 Vac전압의 Peak값인 127~373 Vdc 크기의 전압이 된다. 이는 일반상태에서는 입력 전압보다 최대 1/3정도의 전압을 가지게 되며

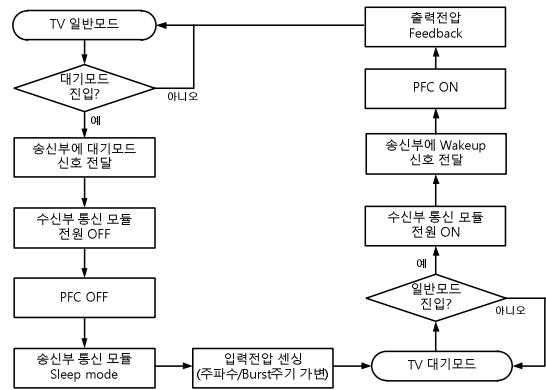


그림 4. 제안하는 대기모드 시 WPT 동작 순서도

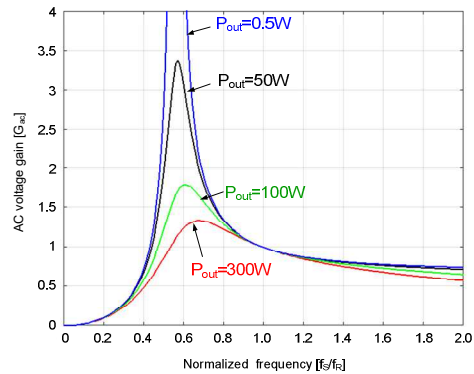


그림 5. 부하 전력에 따른 입/출력 전압이득 특성곡선

feedback 제어가 없이 일반적인 공진 주파수에서 동작을 하게 되면 같은 입/출력 비를 고려할 때 정상상태의 출력의 1/3 크기로 출력 전압이 작아지게 된다. 따라서 인버터 입력전압이 일정전압 이하로 떨어 질 경우에는 입출력 전압이득을 높여주기 위한 동작이 필요하다.

그림 4는 LLC 컨버터 기반으로 제작된 WPT 시스템에서 부하에 따른 입/출력 전압 이득을 보여준다. 일반적인 동작 부하에서는 2~3배의 큰 전압 이득을 가지지 못하는 시스템이라도, 대기전력과 같이 수백 mW 부하에서는 Ro값이 매우 작아지기 때문에 High Q값을 가지게 되어 주파수 변동에 따른 전압이득 폭이 증가한다. 따라서 주파수의 큰 변동 없이 3배에 가까운 충분한 전압 이득을 얻을 수 있다. 일반적인 High line인 180~264 Vac에서는 인버터의 입력전압이 커서 공진 주파수 영역 근처에서도 충분한 출력전압을 얻을 수 있지만, 90~130 Vac에서는 입력전압이 매우 작아지기 때문에 앞서 말한 것처럼 주파수 변동을 통하여 원하는 전압이득 조정이 필요하다. 그림 6~8은 각 동작 상태 별 및 AC 입력 전압 크기에 따른 주파수 변동 회로의 등가 회로이다. 사용된 PFM 제어기 UCC25600의 경우 RT단의 저항이 커질수록 동작 주파수가 낮아진다. 그림 6에서와 같이 일반 동작에서는 Ra 에 의해 최소 주파수가 설정되며 feedback에 의해서 주파수가 변동된다. 그림 7과 같이 대기모드에서는 Ra/Rc로 저항이 작아져서 의해 공진주파수 근처의 고정주파수로 동작을 하며, 입력전압이 일정 이하로 낮아질 경우 그림 8과 같이 (Ra+Rb)/Rc의 크기로 저항이 커짐에 따라 주파수가 다시 낮아져 보다 높은 전압 이득을 얻게 된다.

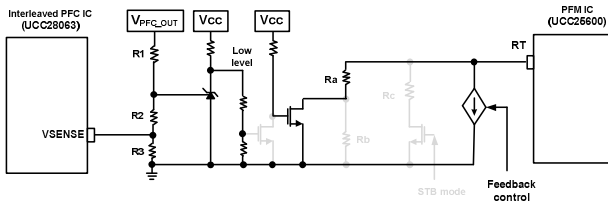


그림 6. 일반 모드에서의 등가 회로

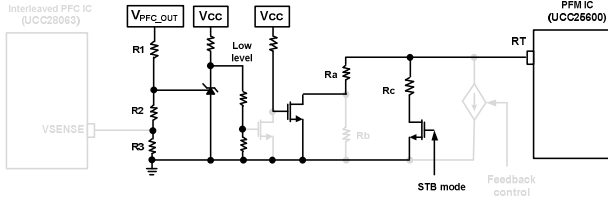


그림 7. 대기 모드 시 High line 에서의 등가 회로

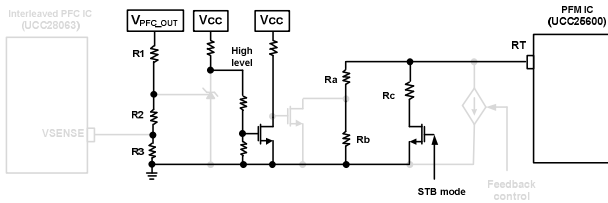


그림 8. 일반 모드 시 Low line 에서의 등가 회로

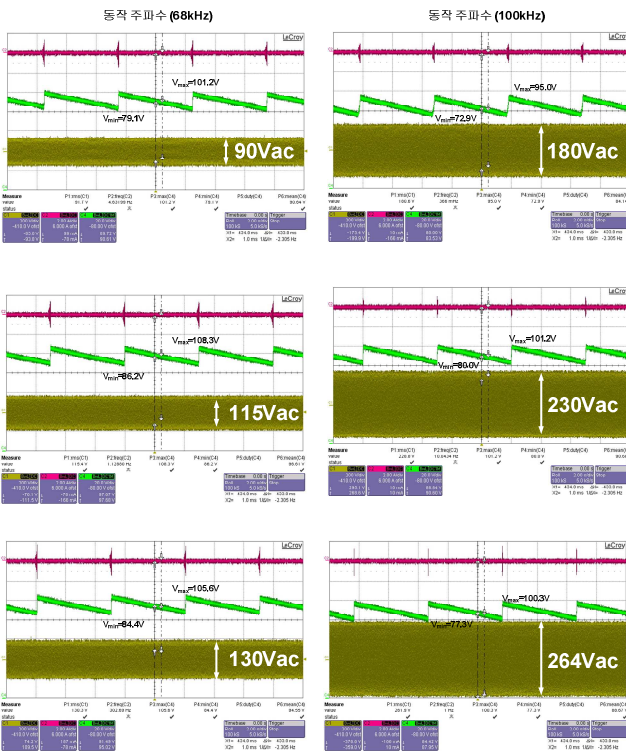


그림 9. 대기모드 시 입력전압에 따른 Burst 동작 및 출력전압
 - CH1 노란색: AC 입력전압 (200V/div.)
 - CH2 빨간색: 공진기 1차측 전류 (2A/div.)
 - CH4 초록색: WPT 출력전압 (20V/div.)

표 1. 입력전압 크기에 따른 대기전력 측정값

AC 전압	f_{sw}	대기전력 (@Pout=0.125W)
90 V _{ac}	68 kHz	0.389 W
115 V _{ac}	68 kHz	0.396 W
130 V _{ac}	68 kHz	0.399 W
180 V _{ac}	100 kHz	0.404 W
230 V _{ac}	100 kHz	0.412 W
264 V _{ac}	100 kHz	0.433 W

3. 실험 결과

그림 9는 대기모드에서 AC 입력 전압크기에 따른 출력전압 파형이다. High line에서는 공진주파수와 동일한 약 100kHz로 동작을 하며 Low line에서는 앞선 제안된 회로를 통해서 약 68kHz에서 동작을 한다. 실험에서 사용된 Burst주는 5초이다. Burst on time은 AC입력전압의 크기에 따라서 결정되며, 이는 출력전압이 일정 수준을 유지할 수 있도록 실험적인 값을 통해서 결정 되었다. 제안된 시스템에서는 그림 8과 같이 입력전압 크기와 상관없이 약 80~100V 전압을 스윙 하는 출력전압을 얻을 수 있고 모든 입력 전압에서 표 1과 같이 대기전력을 만족 할 수 있다.

4. 결론

무선 급전 시스템에서 대기 전력 저감을 위하여 대기 모드 시에 전력을 추가로 소모하는 수신부 통신 모듈 및 송신부의 PFC 블록을 OFF 시키고, 출력 전압 Feed-back 제어 없이 입력전압 크기에 따른 Feed-forward 동작을 하는 무선 급전 시스템의 대기전력 저감 방법 및 시스템 구조를 제안하였다. 제안된 구조를 통하여 대기모드 시에도 AC입력 크기와 상관없이 일정 수준의 출력전압을 유지하면서 수신부에 대기전력을 안정적으로 공급 할 수 있으며, 실험을 통하여 전자기기의 대기전력 규제인 0.5W 이하의 대기전력을 달성 함을 확인 하였다.

참고 문헌

[1] C. S. Wang, O. H. Stielau, and G. A. Covic, "Design considerations for a contactless electric vehicle battery charger," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 52, no. 5, pp. 1308-1314, Oct. 2005.

[2] J. W. Kim, H. C. Son, D. H. Kim, and Y. J. Park, "Optimal design of a wireless power transfer system with multiple self-resonators for an LED TV," *IEEE Trans. Consum. Electron.*, vol.58, no.3, pp.775-780, Aug. 2012.

[3] L. Chen, S. Liu, Y. C. Zhou, and T. J. Cui, "AN optimizable circuit structure for high-efficiency wireless power transfer," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 60, no. 1, pp. 339-349, Jan. 2013